新疆野苹果的生存现状、问题及保护策略

米尔卡米力·麦麦提[1]，刘忠权[3]，马晓东[1]，张宏祥[4]，田中平[1,2*]

（1. 新疆特殊环境物种保护与调控生物学实验室，干旱区植物逆境生物学实验室，新疆师范大学生命科学学院，乌鲁木齐 830054；2. 浙江天童森林生态系统国家野外科学观测研究站，华东师范大学生态与环境科学学院，上海 200241；3. 新疆伊犁职业技术学院，新疆 伊宁 835000；4. 荒漠与绿洲生态国家重点实验室，标本馆，中国科学院新疆生态与地理研究所，乌鲁木齐 830054）

摘要：新疆野苹果是天山野果林的优势种，遗传多样性极其丰富，是世界苹果基因库的重要组成部分。自 20 世纪 60 年代以来，新疆野苹果种群分布面积急剧下降。然而，导致新疆野苹果种群衰退的原因尚不明确，尚无行之有效的保护措施。该文在总结前人研究的基础上，结合实地考察，进一步分析和探讨野苹果的分布现状以及面对的虫害、干扰和种群更新困难等问题。发现新疆野苹果在保护和研究过程中仍然存在以下的问题：一是，新疆野苹果的起源和演化，仍然存在分歧。二是，新疆野苹果种群的分布面积进一步萎缩，其中三个县的分布面积不足 60 年前的三分之一。三是，新疆野苹果的虫害问题得到了有效控制，但是虫害预防监测体系未能全面建设。四是，新疆野苹果过度干扰的问题依然存在，农田开垦和人类砍伐得到一定控制，但是过度放牧依然存在。五是，新疆野苹果更新困难的问题仍然突出，现有的研究处于初级阶段，缺乏深入的研究。针对其存在的问题，建议采取以下措施：利用分子生物学等技术进一步研究其新疆野苹果的起源和演化；建立新疆野苹果资源监测体系，运用先进的监测技术及时有效的监测新疆野苹果的资源现状；建立虫害预防监测系统，及时有效监测和防治病虫害的爆发；建立新疆野苹果保护区，加强原位保护和法律的宣传，强化当地居民对濒危植物的保护；开展新疆野苹果更新机理方面的研究，同时加强迁地保护等措施。通过提出的解决方法和建议，以期为新疆野苹果的科学保护与有效管理提供参考。

关键词：濒危植物，种群分布，种群更新，虫害，人为干扰，保护策略

中图分类号： **文献标识码**：A **文章编号**

Survival status, problems and conservation strategies of *Malus sieversii*

Mierkamili MAIMAITI[1], LIU Zhongquan[3], MA Xiaodong[1],

基金项目：国家自然基金青年科学基金（31901096）；新疆维吾尔自治区高校科研计划自然科学项目（XJEDU2019Y034）[Supported by the National Science Foundation for Young Scientists of China (31901096); Natural Science Project of University Scientific Research Plan in Xinjiang Uygur Autonomous Region (XJEDU2019Y034)]。

作者简介：米尔卡米力·麦麦提（1995-），维吾尔族，硕士研究生，主要从事植物生态学研究，(E-mail)2321986636@qq.com。

***通信作者**：田中平，博士研究生，讲师，主要从事植物生态学和生物多样性保护方面的研究，(E-mail)tianzhongping007@163.com。

ZHANG Hongxiang[4], TIAN Zhongping[1,2*]

(1. *Xinjiang Key Laboratory of Special Species Conservation and Regulatory Biology, Key Laboratory of Plant Stress Biology in Arid Land, College of Life Sciences, Xinjiang Normal University*, Urumqi 830054, China; 2. *Tiantong National Station for Forest Ecosystem Research, School of Ecological and Environmental Sciences, East China Normal University*, Shanghai 200241, China; 3. *Yili Vocational and Technical College*, Yining 835000, Xingjiang, China; 4. *State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Herbarium of Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences*, Urumqi 830054, China)

Abstract: Wild apple (*Malus sieverstii*) is a well-recognized Apple Gene Pool in the world, which is the dominant species of wild fruit forests in the Tianshan Mountains. Since the 1960s, the population area of wild apple has declined sharply in Xinjiang. However, the reasons for the decline of the wild apple population are still unclear. The conservation strategies of wild apples are also not clear. Based on summarizing previous studies and combining field investigation, this paper further analyzes and discusses current situations and problems of pests, disturbance and population regeneration difficulties of wild apple. We found that there are still some problems in the protection and research of wild apples. First, the origin and evolution of wild apples are still divergent. Second, the distribution area of the wild apple population in Xinjiang is further shrinking, and the distribution area of the three counties is less than one-third compared with 60 years ago. Third, the pest problem of wild apple has been effectively controlled, but the pest prevention and monitoring system has not been fully constructed. Forth, the issue of excessive interference of wild apple still exists. Farmland reclamation and human deforestation have been controlled to some extent, but overgrazing still exists. Fifth, the wild apple update difficult problem is still significant, and the existing research is in the primary stage, lacking in-depth study. Given the current issues, we give several suggestions. First, the origin and evolution of wild apples were further studied by molecular biology technology. Second, establish a monitoring system of wild apple resources in Xinjiang and use advanced monitoring technology to monitor the status of wild apple resources in Xinjiang quickly and effectively. Third, establish pest prevention and monitoring system, timely and effective monitoring and control of pest outbreaks. Forth, develop wild apple natural reserve in Xinjiang, strengthen in-situ protection and legal publicity, and strengthen residents' security on endangered plants. Fifth, developing the researching of renewal mechanism of wild apple and enhancing the measures of relocation protection. In the word, to provide the basis for their scientific protection and effective management of wild apple, we put forward the solutions and suggestions to solve the existing problems.

Key words: endangered plant, population distribution, population regeneration, insect pests, human disturbance, conservation strategies

新疆野苹果（*Malus sieversii*）别名塞威氏苹果、天山野苹果等，是世界苹果基因库的重要组成部分（Volk et al., 2005），是现代栽培苹果的祖先种（Cornille et al., 2012；Duan et al., 2017）。它被我国列为II级濒危重点保护植物（国家环境保护局等，1987），并被国际自然保护联盟（IUCN）评为“易危”种（IUCN, 2007）。新疆野苹果作为天山野果林的优势种，自然分布区包括哈萨克斯坦、吉尔吉斯坦等中亚国家（Lamboy et al., 1996），在我国仅分布

在新疆的伊犁河谷和塔城地区（林培钧和崔乃然，2000；Yang et al., 2016），其种群遗传多样性丰富，对区域生态系统稳定、水土保持和生物多样性的维持均起着重要作用，并在长期的进化过程中形成了耐寒、耐旱、抗病等优良性状（林培钧和崔乃然，2000；Cornille et al., 2014；Panyushkina et al., 2017；阎国荣等，2020）。然而，近几十年来新疆野苹果林遭到乱伐、毁林开荒、苹果小吉丁虫危害、放牧等人为的干扰（崔晓宁等，2015；Shan et al., 2021），使得新疆野苹果林的生态环境遭到严重破坏，自然更新极度困难，导致新疆野苹果自然种群数量和分布面积正在急剧减少，繁衍严重受阻，加速了新疆野苹果遗传多样性的减少，种质资源进一步枯竭，因而急需保护（闫秀娜等，2015；Yang et al., 2016；Zhang et al., 2021）。

鉴于新疆野苹果的重要价值，已经开展了诸多研究来保护这一重要的生物资源（林培钧和崔乃然，2000；Cornille et al., 2014；Duan et al., 2017；阎国荣等，2020）。然而，新疆野苹果的濒危形式依然严峻，导致种群衰退的原因尚不明确，所采取的保护措施尚未达到有效的保护效果。虽然郭仲军（2006）和张艳敏（2009）等对新疆野苹果的资源状况、分布区的生态环境特征、与栽培苹果的亲缘关系、遗传多样性、生存现状及保护保存等方面进行了综述。可时隔十年，新疆野苹果在保护和研究过程中仍然存在什么问题？未来还能开展哪些研究来有效的保护和利用新疆野苹果？这还需要进一步进行详细的评述。因此，本文从新疆野苹果的起源和演化、保护和研究过程中遇到的问题，以及如何更好的保护和利用等方面再一次综述，结合实地调查和文献资料，对新疆野苹果保护和研究过程中现存的问题进行剖析并逐一提出了相应的解决方法和建议，希望为这一濒危植物资源的科学保护与有效利用提供更多的参考。

1 新疆野苹果在保护和研究过程中仍然存在的问题

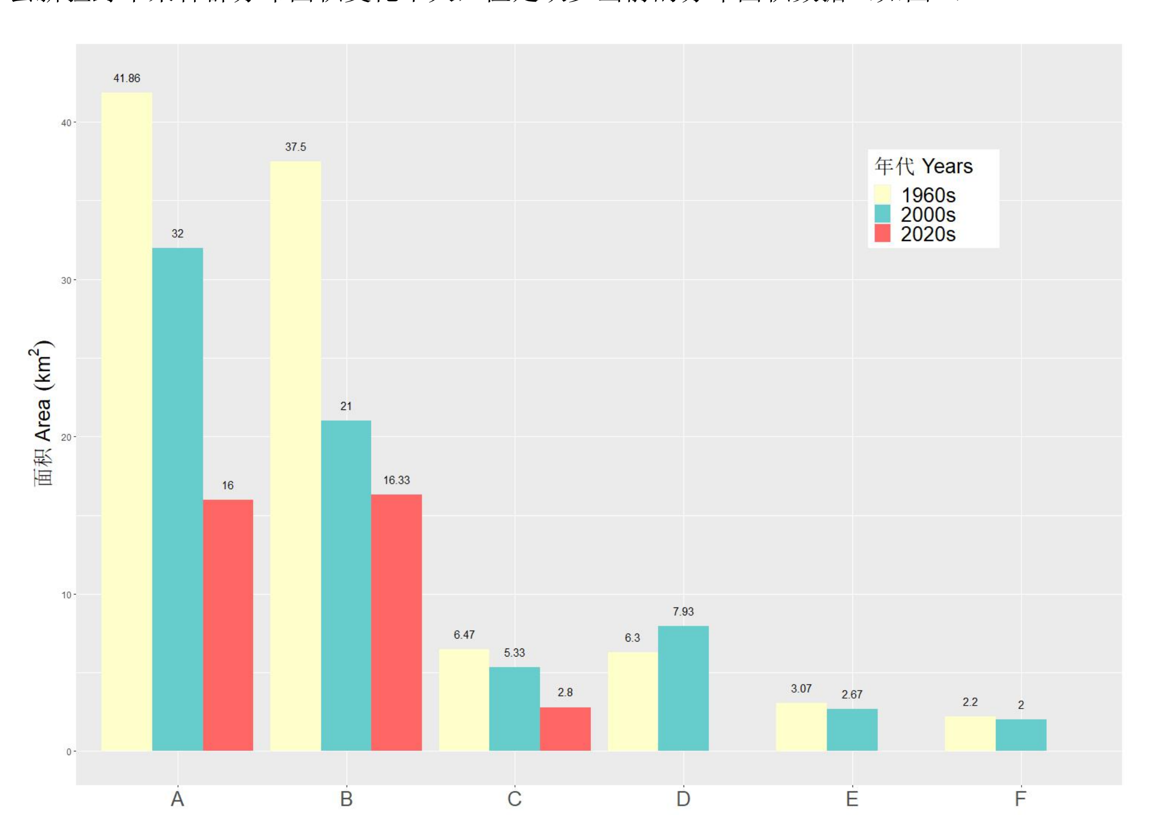
1.1 新疆野苹果的起源和演化

关于新疆野苹果的起源和演化，一直是广大学者关心的问题。主要有两种观点：最早的一种观点认为，新疆野苹果起源于第三纪，经历了地质变迁的磨练，并在第四纪几次冰期活动的“选择”和“淘汰”下退缩到具有优良地方气候的“避难所”，因而形成今日大小不等片状分布的野苹果群落（张新时，1973）。第二种观点认为，随着第四纪冰川的进退，新疆野苹果曾在广阔的中亚平原，包括中国和哈萨克斯坦两国天山山区在内的范围内发生多次往返迁移，至末次冰期消失后，迁移方向再由西向东，逐渐演变至今日现状（刘兴诗等，1993）。关于这两种观点，都有支持的论据。最新研究表明新疆野苹果生境的破碎化形成了三个不同遗传谱系，包括中国塔城地区种群谱系、塔吉克斯坦与哈萨克斯坦准噶尔种群谱系、以及东起于我国伊犁地区种群经哈萨克斯坦西至吉尔吉斯斯坦种群的谱系。受到晚中新世以来亚洲中部山地逐渐变干的过程作用，新疆野苹果不同遗传谱系之间发生了分化。在第四纪期间，该物种的分布区进一步收缩，被优良气候条件的狭窄独立的山地“避难所”保存下来，这进一步支持了第一种观点（Zhang et al., 2021）。而李飞飞等（2011）通过分子生物学数据分析认为，新疆野苹果在第四纪冰期来临时退到中亚平原一带，冰期消失后一部分沿着外伊犁阿拉套山进入伊犁地区的低山带，到达巩留大小莫合谷地，继续向东迁移到达那拉提山北坡前山带新源交吾拓海地区；然后沿着伊犁河谷以北的博罗科努山南坡向北迁移到达霍城果子沟和大西沟。另一部分沿阿拉套山向东北方向迁移至托里，再向北到达额敏，这在一定程度上支持了第二种观点。他们最大的分歧是新疆野苹果在第四纪冰期到来时在中国新疆伊犁河谷有没有完全消失。如果没有完全消失，支持第一种观点。如果在冰期来临时，完全消失了，那么现在分布的新疆野苹果来自于中亚平原，也就支持第二种观点。关于野苹果种群起源、

演化以及迁移问题需要借助孢粉学、化石证据以及基因组测序技术来进一步分析。

1.2 新疆野苹果在中国的分布面积锐减

新疆野苹果自然分布在哈萨克斯坦的东哈萨克斯坦州、准噶尔阿拉套和外伊犁阿拉套（即现在的阿拉木图州）、江布尔州、卡拉套（即现在的南哈萨克斯坦州），吉尔吉斯斯坦的伊塞克湖州、塔拉斯阿拉套，乌孜别克斯坦的费尔干纳州，塔吉克斯坦等中亚国家和区域(林培钧和崔乃然，2000；Dzhangaliev, 2003)。新疆野苹果在中国境内集中分布于天山、巴尔鲁克山、塔尔巴哈台等海拔高度约 1 000～1 800 m 的山区，根据最新的调查，野苹果也能分布到海拔为 2 023 m 的高度，其密集区为新疆伊犁哈萨克自治州的新源县、巩留县、伊宁县、霍城县和塔城地区的托里县、额敏县等六个县域，呈块状或片状分布（郭仲军等，2006；Yang et al., 2016；阎国荣等，2020）。根据实地调查和文献资料，整理和统计新疆野苹果近 60 年的分布面积变化趋势，并通过 R 软件绘图，发现新疆野苹果在我国新疆的分布面积锐减，比如新源县、巩留县和额敏县的新疆野苹果种群分布面积减少到原来的三分之一，而霍城县、托里县、伊宁县新疆野苹果种群分布面积变化不大，但是缺少当前的分布面积数据（如图 1）。



A. 新源县；**B.** 巩留县；**C.** 额敏县；**D.** 霍城县；**E.** 托里县；**F.** 伊宁县。

A. Xinyuan County; **B.** Gongliu County; **C.** Emin County; **D.** Huocheng County; **E.** Tuoli County; **F.** Yining County.

图 1　新疆六个县的新疆野苹果种群分布面积变化趋势

Fig.1　Ttrend of distribution area of *Malus sieversii* population in six counties of Xinjiang

1.3 新疆野苹果持续遭受虫害的危害

研究资料表明，新疆野苹果受到多种病虫害的危害，其中苹果小吉丁虫（*Agrilus mali*）和苹果巢蛾（*Yponomeuta padella*）是主要的两大虫害（Bozorov et al., 2019；Cui et al., 2019；Liu et al., 2018；哈米提和魏建荣，2010）。根据文献资料显示，在 2011 年，新疆伊犁地区苹果小

吉丁虫在新疆野苹果林发生面积达到 3 866 hm^2，受害面积占野果林总面积的将近 40%，枯死的果树超过 600 hm^2（梅闯等，2016）。由于预防不到位，对小吉丁虫生活史的研究不够深，加之天敌数量少，苹果小吉丁虫的迅速蔓延导致野苹果鲜果及种子产量急剧下降（季英等，2004）。除了苹果小吉丁虫以外，危害新疆野苹果的虫害还包括鳞翅目、鞘翅目和膜翅目，它们栖息在健康的树木上，通常以树叶为食，当爆发时，这些病虫危通常导致野苹果树的死亡（表 1）。

表 1　新疆野苹果的主要虫害种类及防治措施

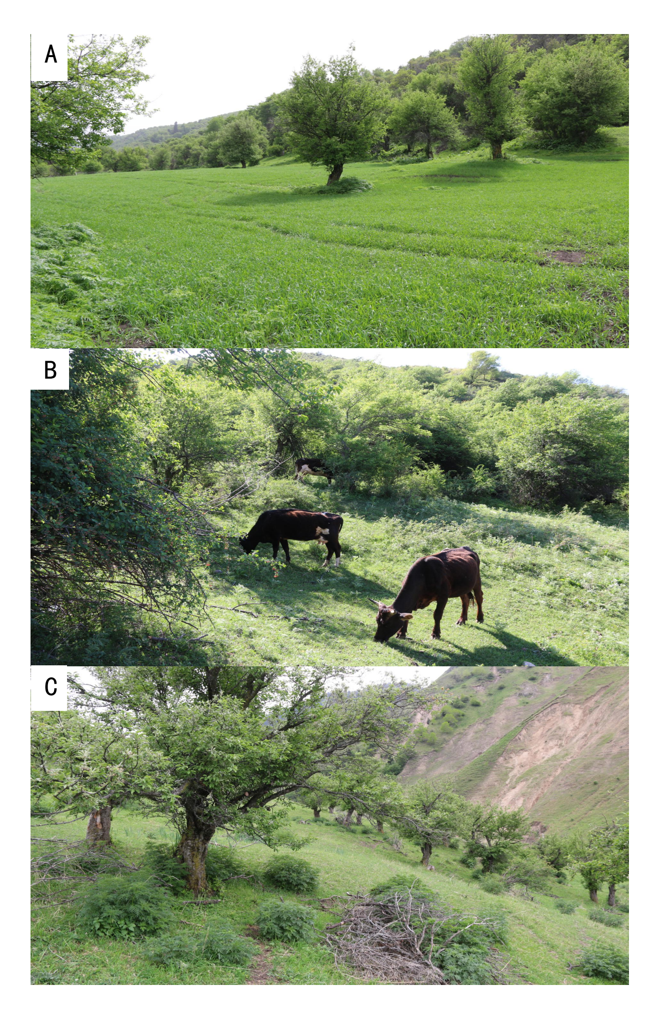
Table 1　Main pest species and control measures of *Malus sieversii*

中名/学名 Chinese / Scientific name	目 Category	科 Family	来源地 Area of source	伤害部位 Injury site	防治措施 Control measures	参考文献 References
苹果小吉丁虫 *Agrilus mali*	鞘翅目 Coleoptera	吉丁虫科 Buprestidae	中国、朝鲜、俄罗斯、日本 China, North Korea, Russia, Japan	枝干皮层内蛀食，果实 Caries in cortex of branches, fruit	保护天敌、涂药治虫、喷药杀虫、被侵枝条修剪销毁 Protect natural enemies, apply insecticides to control insects, spray insecticides to kill insects, prune and destroy invaded branches	崔晓宁等，2015；Bozorov et al.，2019；Zhi et al.，2019
苹果巢蛾 *Yponomeuta padella*	鳞翅目 Lepidoptera	巢蛾科 Yponomeutidae	中国、朝鲜、日本、蒙古、欧洲、俄罗斯 China, North Korea, Japan, Mongolia, Europe, Russia	叶子 Foliage	人工剪除网巢、化学制剂防治、采集苹果巢蛾蛹烧毁 Artificial removal of net nests, chemical control, Collect *Yponomeuta padella* to burn	哈米提和魏建荣，2010
苹果蠹蛾 *Cydia pomonella*	鳞翅目 Lepidoptera	卷蛾科 Tortricidae	中国、哈萨克斯坦、吉尔吉斯坦、塔吉克斯坦、乌兹别克斯坦 China, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Tajikistan, Uzbekistan	果实 Fruit	刮除树枝干上的翘皮、集中烧毁、幼虫孵化期喷药 Scrape off the warped bark on the branches, burn, spray on the hatching period	李保平和孟玲，2001；陈乃中，2003

野蛞蝓 *Agriolimax agrestis*	柄眼目 Stylommatophora	蛞蝓科 Limacidae	中国、哈萨克斯坦 China, Kazakhstan	萌发的幼芽及幼苗 Buds and seedlings	青菜叶子做诱饵，进行人工捕捉 、破坏其栖息环境、药剂防治 Vegetable leaves as bait, artificial capture, destruction of its habitat environment, pesticide control	Jashenko & Tanabekova, 2019
鳃金龟 *Melolontha hippocastani*	鞘翅目 Coleoptera	鳃金龟科 Melolonthidae	中国、哈萨克斯坦、朝鲜 China, Kazakhstan, North Korea	叶子 Foliage	清除地边、沟里杂草，可消灭金龟子成虫，保护好天敌 Clear the weeds on the edge, kill the adult beetle, good protection of natural enemies	Jashenko & Tanabekova, 2019

1. 4 新疆野苹果仍然存在过度干扰的问题

自 20 世纪 60 年代以来，新疆野苹果林遭受过度干扰，导致新疆野苹果部分分布区域出现水土流失与山体滑坡的现象（林培钧和崔乃然，2000；刘华等，2010；阎国荣等，2020；Shan et al., 2021）。为了进一步保护新疆野苹果，在 2015—2020 年，我们通过实地调查，认为新疆野苹果林仍然存在过度干扰的问题，主要包括以下几个方面：（1）农田扩张。虽然近几年农田开垦得到一定控制（成克武等，2008），但是，毁林造田仍然存在，如图 2：A，巩留和新源县等区域仍然存在的农田开垦。（2）过度放牧。随意放牧使得幼苗被牲畜啃食和踩踏，以及果实被动物啃食。在自然保护区内，可随处见到放牧活动，以至于严重影响新疆野苹果的生长和繁育（郭仲军等，2006；Shan et al., 2021），如图 2：B，霍城县、巩留县和新源县随处可见的放牧。（3）景区的开放。新疆伊犁霍城县果子沟等景区，都对游客开放。游客会踩踏野苹果的幼苗，并采摘果实。（4）近距离种植栽培苹果。野生种群周边近距离种植栽培苹果（*Malus ×domestica*）（如图 2：C），被栽培苹果树遗传侵蚀，导致新疆野苹果野生种群的遗传多样性降低（IUCN, 2007；Cornille et al., 2014；Feurtey, 2020）。



A. 新疆野苹果林下的农田开垦；**B.** 新疆野苹果林下的放牧；**C.** 近距离种植的栽培苹果。

A. The cropland reclamation under forest; **B.** Grazing under forest; **C.** The closely grown cultivated apples.

图 2　新疆野苹果种群受不同类型的干扰

Fig.2　Varying disturbance of *M. sieversii* population

1.5 新疆野苹果种群更新仍然困难

新疆野苹果林下幼苗极度缺乏，种群内老龄个体比例较多，幼龄个体相对较少，种群结构趋于不稳定或衰退状态，使得种群的繁殖和自然更新变得更加困难（刘忠权等，2016；田润炜等，2016；张苹等，2019）。根据最新的调查和文献资料显示，新疆野苹果更新困难主要表现在以下几个方面：（1）林下幼苗极度缺乏。根据 2007 年冯涛在巩留和新源县的调查显示，巩留居群破坏比较严重，幼苗个体数较少，而新源县的种群保存完好，年龄级构呈稳定略有上升的特征（冯涛等，2007）。然而，刘忠权（2016）和张苹（2019）等的调查显示，新源县的居群处于生命力相对旺盛的中龄期，幼龄个体数目稀少且存在衰退趋势。田润炜等（2016）对塔城地区额敏县和托里县的新疆野苹果种群年龄结构调查发现，种群更新程度不及种群老化程度，种群衰退形式更严峻。（2）实生幼苗存活困难。刘忠权和董合干（2018）调查新源县新疆野苹果实生苗空间分布，连续追踪几年的实生幼苗生存现状，发现新疆野苹果实生幼苗均无法活到当年秋季，只依靠自然状况下种子萌发的实生幼苗来更新，种群更新则会非常困难。因而，种群自然更新必须具备适合种子萌发的生境、幼苗能成活的环境，否则影响整个种群的更新情况。（3）土壤种子库无新疆野苹果种子。刘璐等（2015）在巩留县

莫乎尔乡的调查发现土壤种子库不存在新疆野苹果的种子，新疆野苹果种群难以依靠种子萌发进行更新。

2 新疆野苹果在保护和研究过程中迫切需要开展的工作

2.1 利用分子生物学等技术进一步研究其新疆野苹果的起源和演化

国内外研究学者利用分子生物学技术对植物种类的起源、演化和迁移进行了一系列研究，如从形态学、细胞学、孢粉学、酶学、分子标记等（聂圆，2019；Sun et al., 2020）。杨晓红等（1992）通过用醋酸酐法分解花粉，对新疆野苹果花粉形态进行了分析，揭示了新疆野苹果是较为原始的种类，对苹果属植物的起源和演化研究提供了参考资料。在分子生物学技术方面，虽然对于新疆野苹果的起源、演化和迁移问题上开展了一些研究（Zhang et al., 2021；Sun et al., 2020；Duan et al., 2017；李飞飞等，2011），但是资料有所欠缺，因此，应该加强国际、国内学者合作，应用先进的基因组学研究方法，为逐步解决存在的起源、演化和迁移等争议性问题提供更多证据。谱系地理学分析为探索物种在时间和空间上的进化历程、起源历史以及现代地理分布格局成因提供了有效的研究方法（Zhang et al., 2021）。分子钟和化石证据是目前推算物种起源与演化时间的主要研究手段，传统研究中植物的起源及演化主要靠化石信息进行估算，然而某些物种化石记录非常稀少并且无法正确地提供足够的化石证据（Murat et al., 2017；Morris et al., 2018），因此，结合分子钟和化石记录能更有效地推算出物种的起源和演化历程。以这些技术和方法为案例，将其应用于新疆野苹果的起源、演化历史及迁移的研究中具有一定的科学意义。

2.2 整合遥感、生态学、分子生物学等方法探究新疆野苹果分布面积急剧减少的原因

关于新疆野苹果分布面积急剧减少的问题，虽然，从上个世纪 50 年代以来，国家和当地政府部门投入了一些人力、物力和财力对新疆野苹果部分分布区域采取了相应的保护措施，比如建立保护区、迁地或就地保护、防治病虫害、减少人为破坏、人工更新等措施，但是，新疆野苹果分布区域基本都是山区，缺乏规划和管理，又由于上个世纪过度干扰，自然更新极度困难等原因，仍然无法有效遏制新疆野苹果的衰退趋势。为了进一步监测和保护新疆野苹果，建议从以下几个方面来开展工作：（1）利用无人机和遥感技术进行分布面积的监测。遥感和无人机技术在森林资源的调查和生态系统的景观格局分析等方面得到广泛的应用，利用遥感和无人机技术来识别新疆野苹果，从而计算新疆野苹果林的历史和现存的分布面积，比起传统的人工现场调查，遥感和无人机技术不仅可以快速获得结果，而且更省时又省力且更为精准（Isaacson et al., 2017）。（2）结合生态学方法，进一步探究新疆野苹果分布面积减少的原因。新疆野苹果种群面积的减少，不仅存在人为的原因，而且存在其它原因，比如全球气候和土地利用变化导致的适宜生境减少。因而，需要进一步从生态学的角度去探究新疆野苹果分布面积减少的原因。（3）整合分子生物学技术，从生物学的角度探讨野苹果分布范围减少的生物学原因，比如扩散和传播的限制。

2.3 综合开展新疆野苹果虫害的治理和防治工作

虫害治理和防治是当前新疆野苹果林生态恢复的一项十分紧迫的任务（Bozorov et al., 2019；Cui et al., 2019；阎国荣等，2020）。研究人员对苹果小吉丁虫的防治和研究较多，比如刘爱华（2010）、Bozorov（2019）和 Cui（2019）等对苹果小吉丁虫的生物学特性、空间分布、天敌种类、天敌习性及防控效果进行了详细的研究，为苹果小吉丁虫的有效控制奠定了理论基础。王智勇（2013）和岳霞（2019）通过野外调查和实验，确认释放天敌—肿腿蜂，

可有效防治苹果小吉丁虫。刘逸泠和祝建波（2015）通过林间实验发现采用树干输液法防治苹果小吉丁虫可取得良好的效果。孔婷婷等（2019）研究苹果小吉丁虫的发生与林分因子之间的关系，发现苹果小吉丁虫的虫口密度与野苹果所在的海拔和坡度呈显著负相关，这也为苹果小吉丁虫的防控和防治提供一定的科学依据。其他的研究人员，对危害新疆野苹果的苹果巢蛾、根腐病、镰刀菌也开展了相关研究（哈米提和魏建荣，2010；liu et al., 2018；Cheng et al., 2019），为新疆野苹果的病虫害防治提供了理论和实践资料。虽然，在新疆野苹果病虫害防治方面开展了较多的研究成果，我们建议加强以下几个方面的研究：（1）采用遥感、昆虫雷达等技术开展病虫害监测和防治工作。遥感技术在虫害的侦察、监测、预测、防治等方面发挥了重要作用。除了遥感技术之外，可以考虑通过昆虫雷达、地面传感网、地理信息系统等多种手段获取有效信息，与此同时要建立系统的预防控制研究体系并应用在病害虫预测和病害虫防控。（2）继续加强病虫害机理方面的研究。虽然对苹果小吉丁虫的生物学特性和空间分布、天敌种类和习性等方面进行了详细的研究（刘爱华等，2010；Bozorov et al., 2019；Cui et al., 2019；Mei et al., 2020）。但是，缺少野苹果病虫害对全球气候变暖产生的反应等方面的研究。（3）预防国外病虫害的入侵。火疫病（Fire blight）严重危害新疆野苹果和栽培苹果的生长，并会产生严重的经济损失（Harshman et al., 2017）。因而，加强防范外来病虫害的入侵尤为重要。

2.4 采取合理有效的保护措施解决新疆野苹果过度干扰的问题

新疆野苹果受人为因素的影响，导致种群持续衰退、数量不断减少、结构单一，濒危状况日益严重（刘忠权等，2016；Zhang et al., 2020；阎国荣等，2020；Shan et al., 2021）。为了有效减少人为对新疆野苹果的过度干扰，认为有必要开展以下几个方面的工作：（1）设立生态定位研究站，把天山野果林纳入国家生态网络定位监测体系中。在新疆野苹果分布区建立完善的国家管理系统，设立生态定位研究站，把天山野果林纳入国家生态网络定位体系中，保障和改善林下生长环境，最大程度限制或减少人为的破坏和外界因素的干扰。根据实际情况采取合理有效的保护措施，受人为干扰严重的分布区，必要时采取封闭式保护措施。各级有关部门得制定或完善相关法律、条例和政策，加强管理、逐级落实到位，制止或阻止林下过度放牧、动物采食、毁林造田、毁林盖房、不合理的嫁接改造、过度旅游开发等对野苹果的毁灭性行为，配备专人进行严格管理（阎国荣等，2020）。（2）加强法律的宣传，强化当地居民对濒危植物的保护。新疆野苹果主要分布在山区，当地居民对保护新疆野苹果的法律意识淡薄。因而，需要加强法律宣传的力度，鼓励当地的居民共同保护新疆野苹果。

2.5 综合探究新疆野苹果种群更新困难的问题

新疆野苹果幼苗的补充及种群的更新影响着整个天山野果林群落的结构及物种组成（王昆等，2013）。从我们整理的文献资料显示，新疆野苹果种群幼苗的更新在新源县、巩留县、额敏县、托里县都存在严重的更新障碍（Yang et al., 2016；刘忠权等，2016；田润炜等，2016；张苹等，2019）。虽然在国家和新疆维吾尔自治区的大力资助下，地方部门也采取了退耕还林、围栏封育、种子繁殖更新、人工抚育幼苗、根萌和根蘖繁殖更新、人工授粉等措施，促进了新疆野苹果的天然更新，但是更新仍然存在障碍（阎国荣等，2020）。为了有效缓解新疆野苹果更新困难的问题，认为有必要开展以下几个方面的工作：（1）增强对新疆野苹果种群更新机理的研究。刘华等（2010）通过调查显示，林下过度放牧，牧民把新疆野苹果的实生幼苗连同周围的杂草一起刈割做家畜饲料以及采收果实等过程导致林下幼苗稀少。但也有研究者通过实验研究认为异种土壤（稠李周围采集的土壤）有利于幼苗的更新，同种土壤（野苹果周围采集的土壤）抑制幼苗的更新（巴音达拉和江到无列提·米山别克，2019）。Yang

（2016）和孔维亨（2018）等通过野外调查和实验认为虫害和人类活动限制了新疆野苹果的更新。因而，从种子生产到幼苗成活以及长成幼树等各个阶段进行系统性研究，准确找到影响新疆野苹果更新的因素，才能解决新疆野苹果更新困难的问题。（2）对新疆野苹果种群更新状况进行长期连续监测，找寻影响种群更新的关键环节。通过文献整理发现，仅有刘忠权和董合干（2018）对新源县新疆野苹果种群幼苗的更新情况进行了连续的监测，详细报道了新疆野苹果的更新状况，但缺少对新疆野苹果多个种群长期的连续监测。因而，建议进行长期的连续的监测，并注重微生境对新疆野苹果实生幼苗的生长及死亡的影响，找寻影响种群更新的关键环节，对于解决新疆野苹果更新困难的问题十分必要。（3）利用现代生物技术和人工措施来促进新疆野苹果种群的天然更新。先前的研究，采用人工播种、种子繁殖、栽植苗木、嫁接繁殖、幼苗平茬处理、扦插和组织培养等人工方法能解决新疆野苹果的更新问题（阿布力米提·阿布利孜等，2010）。并且，刘兵和彭立新（2011）运用组织培养的方法开展新疆野苹果的繁殖，并建立了适用于新疆野苹果茎段腋芽组织培养体系，为改善新疆野苹果繁殖和苗木培育工作奠定了科学基础。因而，建议利用现代生物技术和人工措施来促进新疆野苹果种群的天然更新，恢复新疆野苹果种群的自然修复和更新能力，以此来“拯救”新疆野苹果。

3 小结与展望

3.1 建立资源监测体系

综上所述，新疆野苹果生存和繁衍过程中遇到的问题诸多。因此，对新疆野苹果的保护和利用也开展了诸多研究，如利用分子生物学技术、生态学、无人机整合遥感监测、害虫防治和人工更新等，但仍处于初级阶段，对于其濒危机制还未深入研究。基于前人的研究经验，下一步建议完善新疆野苹果的分布信息，新疆野苹果在伊犁河谷呈块状或片状分布，分布区域不集中，要想全部保护是不可能的，需要深入开展野外群落学调查，继续采用网络、遥感等技术建立信息监测网络。对新疆野苹果生长的环境进行实时监控，这样既能防止人为破坏，又能找出新疆野苹果遭受破坏的其他原因。除此之外，建立完善的资源监测体系，提高对新疆野苹果的监管力度，以期能提供资源变化动态、生境变化动态等动态信息，得以完善濒危生存评价体系和更准确的评价结果，从而达到有效地保护效果。

3.2 深入开展迁地保护后的研究

目前对新疆野苹果的就地保护、迁地保护和人工繁殖技术等方面已开展了一些研究工作，种群数量已经有了一定的扩大，这为之后的研究提供了更好的条件。因此，将就地保护、迁地保护和回归有机结合，建立长期监测机制，掌握通过迁地保护的新疆野苹果种群年龄结构和动态变化，加强本底数据的积累，进一步开展不同时间尺度上的动态研究。获取迁地保护的新疆野苹果种群更完整的动态信息，从而更好地理解迁地保护种群的适应性。然而，要深入探究和了解迁地保护的新疆野苹果种群在叶片功能性状、生态化学计量特征和养分回收效率三个方面差异的原因需要结合更多生境因子如光照、土壤水分含量等数据进行综合分析，从而对迁地保护的新疆野苹果种群适应性进行综合评估。开展迁地保护的新疆野苹果种群繁殖和更新情况调查，通过对开花和结果情况、种子形态性状、种子萌发率等调查，判断迁地保护后新疆野苹果后代适合度是否有差异，从而进一步阐释迁地保护工作是否成功，为新疆野苹果的迁地保护工作提供理论依据和参考。

3.3 建立新疆野苹果保护区

科学保护新疆野苹果并保持种群可持续发展问题十分棘手，针对现状，在天山野果林区域建立新疆野苹果保护区，加强就地保护。虽然国家和新疆政府建立的相应的保护区，对新疆野苹果起到一定的保护作用。但是，西天山国家级自然保护区重点保护雪岭云杉（*Picea schrenkiana*），巩留野核桃沟自治区级自然保护区重点保护野核桃（*Juglans regia*），新疆巴尔鲁克山国家级自然保护区重点保护野巴旦杏（*Amygdalus Ledebouriana*），缺少针对新疆野苹果野生种群而建立的自然保护区。因而，建立新疆野苹果保护区，以减少人为破坏和外界因素的干扰，实行最严格的保护条例，使得新疆野苹果能够得到最大限度的保护。并且根据受干扰的程度，开展就地保护保护措施，使新疆野苹果林的生态环境逐步恢复和维持其生物多样性都具有十分重要的意义。

致谢：感谢华东师范大学的张健教授、天津农学院的阎国荣教授、华南农业大学的崔大方教授、新疆师范大学的孙慧兰博士以及审稿专家对本文提的修改建议。

参考文献:

ABULIZI A, LIU MJ, TAO RJ, et al., 2010. Artificial cultivation technology *Malus sieversii* in Xinjiang[J]. Rural Sci Technol, 9(9): 61-62. [阿布力米提·阿布利孜，刘孟君，陶若娟，等，2010. 新疆野苹果人工栽培技术[J]. 农村科技，9(9)：61-62.]

BAYINDALA, MISHANBIEKE J, 2019. Study on the effect of distance restriction on the survival of *Malus Sieversii* seedlings in Xinjiang[J]. Hunan Agric Sci, 410(11): 75-77. [巴音达拉，江到无列提·米山别克，2019. 新疆野苹果幼苗生存的距离制约效应研究[J]. 湖南农业科学，410(11)：75-77.]

BOZOROV TA, LUO Z, LI X, et al., 2019. *Agrilus mali* Matsumara (Coleoptera: Buprestidae), a new invasive pest of wild apple in western China: DNA barcoding and life cycle[J]. Ecol Evol, 9(3): 1160-1172.

CHEN NZ, 2003. Study and application of the diversity and information of carpophagous insect pests in the world[D]. Beijing: China Agricultural University. [陈乃中，2003. 世界水果果实害虫种类及其信息资源的研究与应用[D]. 北京：中国农业大学.]

CHENG KW, ZHOU XF, ZANG RG, et al., 2008. Study on the measures of conserving *Malus sieversii* resources in Xinjiang, China[J]. Arid Zone Res, 25(6): 760-765. [成克武，周晓芳，臧润国，等，2008. 新疆野苹果资源保护对策探讨[J]. 干旱区研究，25(6)：760-765.]

CHENG Y, ZHAO W, LIN R, et al., 2019. Fusarium species in declining wild apple forests on the northern slope of the Tianshan Mountains in north-western China[J]. For Pathol, 49(5): e12542

CORNILLE A, GIRAUD T, SMULDERS M, et al., 2014. The domestication and evolutionary ecology of apples[J]. Trends Genet, 30(2): 57-65.

CORNILLE A, GLADIEUX P, SMULDERS M, et al., 2012. New Insight into the history of domesticated apple: Secondary contribution of the European wild apple to the genome of cultivated varieties[J]. Plos Genet, 8(5): e1002703.

CUI XN, LIU DG, LIU AH, 2015. Research progress in integrated management of *Agrilus mali*[J]. Plant Protect, 41 (2): 16-23. [崔晓宁，刘德广，刘爱华，2015. 苹果小吉丁虫综合防控研究

进展[J]. 植物保护，41(2)：16-23.]

CUI ZJ, ZHANG YL, ZHANG X, et al., 2019. Life history and mortality factors of *Agrilus mali* Matsumura (Coleoptera: Buprestidae) in wild apples in northwestern China: Life history and mortality factors of *Agrilus mali* Matsumura[J]. Agric For Entomol, 21(3): 309-317.

DUAN N, BAI Y, SUN H, et al., 2017. Genome re-sequencing reveals the history of apple and supports a two-stage model for fruit enlargement[J]. Nat Commun 8(1): 249.

DZHANGALIEV AD, 2003. The wild apple tree of Kazakhstan. Hortic Rev, 29: 63-304.

FENG T, ZHANG YM, CHEN XS, 2007. Study on the age structure and density of the wild apple forest of *Malus sieversii*[J]. J Fruit Sci, 24 (5): 571-573. [冯涛，张艳敏，陈学森，2007. 新疆野苹果居群年龄结构及郁闭度研究[J]. 果树学报，24(5)：571-573.]

FEURTEY A, GUITTON E, COQUEREL M, et al., 2020. Asian wild apples threatened by gene flow from domesticated apples and by their “Pestified” pathogens [J]. Mol Ecol, 29: 4925-4941.

GUO ZJ, LIU LY, ZHANG WY, et al., 2006. Current situation and prospect of wild apple resources in Xinjiang[C]. progress of biodiversity conservation and research in China VII-Proceedings of the 7th national symposium on biodiversity conservation and sustainable utilization: 2-6. [郭仲军，刘丽艳，张炜银，等，2006. 新疆野苹果资源现状分析及前景展望[C]. 中国生物多样性保护与研究进展Ⅶ—第七届全国生物多样性保护与持续利用研讨会论文集：2-6.]

HAMITI, WEI JR, 2010. Control techniques of the important pest "apple ermine moth" in wild apple trees[J]. North Fruit, (2): 27-28. [哈米提，魏建荣，2010. 野苹果林重要虫害"苹果巢蛾"的防治技术[J]. 北方果树，(2)：27-28.]

HARSHMAN JM, EVANS KM, ALLEN H, et al., 2017. Fire Blight Resistance in Wild Accessions of *Malus sieversii*[J]. Plant Dis, 101: 1738-1745.

ISAACSON S, EPHRATH, JE, RACHMILEVITCH, S, et al., 2017. Long and short term population dynamics of acacia trees via remote sensing and spatial analysis: Case study in the southern Negev Desert[J]. Remote Sens Environ, 198: 95-104.

IUCN, 2007. *Malus sieversii.* The IUCN Red List of threatened species 2007: e.T32363A9693009.

JASHENKO R, TANABEKOA G, 2019. Insects that damage the wild populations of *Malus sieversii* in Kazakhstan[J]. IOP Conf Series: Earth Environ Sci, 298: 012018.

JI Y, JI R, HUANG RX, 2004. Invasive species *Agrilus Mali* Matsumura and damage in Xinjiang[J]. Xinjiang Agric Sci, 41 (1): 31-33. [季英，季荣，黄人鑫，2004. 外来入侵种苹果小吉丁虫及其在新疆的危害[J]. 新疆农业科学，41(1)：31-33.]

KONG TT, LIU AH, ZHANG JW, 2019. The relationship between population *Agrilus mali* Matsumura density and stand factors of apple trees in Tianshan wild apple forest[J]. Chin plant prot, 39(11): 42-46. [孔婷婷，刘爱华，张静文，2019. 天山野苹果林苹果小吉丁虫虫口密度与林分因子的关系[J]. 中国植保导刊，39(11)：42-46.]

KONG WH, LIU LQ, QIN W, 2018. Analysis of the decline and natural regeneration status of *Malus sieversii* forest population in Xinyuan County[J]. J Xinjiang Agric Univ, 41(5): 323-330. [孔维亨，刘立强，秦伟，等，2018. 新源县野苹果林种群的衰退与天然更新状况分析[J].新疆农业大学学报，41(5)：323-330.]

LAMBOY WF, JING Y, FORSLINE PL, et al., 1996. Partitioning of allozyme diversity in wild populations of *Malus sieversii* L. and Implications for germplasm collection[J]. J Amer Soc Hort Sci, 121(6): 982-987.

LI BP, MENG L, 2001. Larval and pural parasttoids of the codling moth *Laspyresia pomionella*[J]. J

Environ Entomol , 23(4): 185-187. [李保平，孟玲，2001. 苹果蠹蛾幼虫和蛹寄生蜂种类[J]. 环境昆虫学报，23(4)：185-187.]

LI FF, CUI DF, LIAO WB, et al., 2011. Geographic distribution pattern and genetic relationship of *Malus sieversii* (Ldb.) Roem. in China[J]. Arid Land Geography, 34(6): 926-932. [李飞飞，崔大方，廖文波，等，2011. 中国新疆野苹果（*Malus sieversii* (Ldb.) Roem.）种群地理分布格局及其遗传关系研究[J]. 干旱区地理，34(6)：926-932.]

LIN PJ, CUI NR, 2000. Wild fruit forests resources in Tianshan Mountains — Comprehensive research on wild fruit forest in Ili, Xinjiang, China [M]. China Forestry Publishing House, Beijing: 46-47. [林培钧，崔乃然，2000. 天山野果林资源——伊犁野果林综合研究[M]. 北京：中国林业出版社：46-47.]

LIU AH, SHANG J, ZHANG JW, et al., 2018. Canker and fine-root loss of *Malus sieversii* (Ledeb.) Roem. caused by *Phytophthora plurivora* in Xinjiang province in China[J]. For Pathol, 48: e12462.

LIU AH, WANG DY, ZHANG XP, et al., 2010. Preliminary discussion on control effect of dominant natural enemies of *Agrilus mali* Matsumura Larvae in Xinjiang[J]. Xinjiang Agric Sci, 47(8):1522-1525. [刘爱华，王登元，张新平，等，2010. 新疆苹果小吉丁优势天敌控害效果初探[J]. 新疆农业科学，47(8)：1522-1525.]

LIU B, PENG LX, 2011. Studies on tissue culture system of *Malus sieversii*[J]. J Tianjin Agric Univ, 18(2): 10-12. [刘兵，彭立新，2011. 新疆野苹果组织培养体系的建立[J]. 天津农学院学报，18(2)：10-12.]

LIU H, ZANG RG, DING Y, et al., 2010. Population characteristics of *Malus sieversii* in the west part of Tianshan Mountains, Xinjiang[J]. For Sci, 46 (11): 1-7. [刘华，臧润国，丁易，等，2010. 天山西部新疆野苹果种群特征[J]. 林业科学，46(11)：1-7.]

LIU L, LIU P, LIU SC, 2015. Species composition and space distribution characteristic of soil seed bank of *Malus sieversii* in Xinjiang[J]. For Ecol Sci, 30(2): 146-150. [刘璐，刘萍，刘双成，2015. 新疆野苹果林土壤种子库物种组成及其空间分布特征研究[J]. 林业与生态科学，30(2)：146-150.]

LIU XS, LIN PJ, ZHONG JP, 1993. An analysis and inquiry into the wild apple trees in Ili[J]. Arid Zone Res, 10(3): 31-36. [刘兴诗，林培钧，钟骏平，1993. 伊犁野果林生境分析和发生探讨[J]. 干旱区研究，10(3)：31-36.]

LIU YL, ZHU JB, 2015. Researches on technique for the control of *Agrilus mali* Matsumura in Xinjiang[J]. J Fujian For Sci Technol, 42(2): 138-141. [刘逸泠，祝建波，2015. 新疆野苹果小吉丁虫防治试验[J]. 福建林业科技，42(2)：138-141.]

LIU ZQ, DONG HG, 2018. Spatial distribution and survival status of wild apple seedlings in Xinjiang wild apple forest a case study of Xinyuan County[J]. Xinjiang Agric Sci Technol, 242 (5): 41-45. [刘忠权，董合干，2018. 新疆野苹果林野苹果实生苗空间分布及其生存现状以新源县为例[J]. 新疆农业科技，242(5)：41-45.]

LIU ZQ, DONG HG, LIANG QL, et al., 2016. Life table and survival analysis of relict plant *Malus sieversii* population[J]. J Arid Land Resour Environ, 30(10): 98-103. [刘忠权，董合干，梁巧玲，等，2016. 孑遗植物新疆野苹果种群生命表与生存分析[J]. 干旱区资源与环境，30(10)：98-103.]

MEI C, YAN P, MAIMAITI A, et al., 2016. The relationship between bark thickness and diameter class on *Agrilus mali* damage in Xinjiang wild apple[J]. J Agric Sci Technol, 18 (4): 24-30. [梅

闯，闫鹏，艾沙江·买买提，等，2016. 新疆野苹果受苹小吉丁虫危害程度与树皮厚度、径阶的关系[J]. 中国农业科技导报，18(4)：24-30.]

MEI C, YANG J, YAN P, et al., 2020. Full-length transcriptome and targeted metabolome analyses provide insights into defense mechanisms of *Malus sieversii* against *Agrilus mali*[J]. Peer J, 8: e8992.

MORRIS JL, PUTTICK MN, CLARK JW, et al., 2018. The timescale of early land plant evolution[J]. Proc Nat Acad Sci USA, 115(10): E2274-E2283.

MURAT F, ARMERO A, PONT C, et al., 2017. Reconstructing the genome of the most recent common ancestor of flowering plants[J]. Nat Genet, 49(4): 490-496.

National Environment Protection Bureau and IB-CAS. 1987. The list of rare and endangered plants protected in China (Vol. I)[M]. Academy Press, Beijing: 23-25. [国家环境保护局和中国科学院植物研究所，1987. 中国珍稀濒危保护植物名录（第一册）[M]. 北京：科学出版社：23-25.]

NIE Y, 2019. Estimation of the origin and evolution time of green plants by Bayesian molecular clock[D]. Nanjing: Nanjing Normal University. [聂圆，2019. 利用贝叶斯分子钟估算绿色植物起源与演化时间[D]. 南京：南京师范大学.]

PANYUSHKINA I, MUKHAMADIEV N, LYNCH A, et al., 2017. Wild apple growth and climate change in southeast Kazakhstan[J]. Forests, 8(11): 406.

SHAN Q, WANG Z, LING H, et al., 2021. Unreasonable human disturbance shifts the positive effect of climate change on tree-ring growth of *Malus sieversii* in the origin area of world cultivated apples[J]. J Clean Prod, 287: 125008.

SUN X, JIAO C, SCHWANINGER H, et al., 2020. Phased diploid genome assemblies and pan-genomes provide insights into the genetic history of apple domestication. Nat Genet, 52:1423-1432.

TIAN RW, CAI XB, LIU LY, et al., 2016. Characteristics of the age structure and dynamics of *Malus sieversii* population[J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 36 (4): 811-817. [田润炜，蔡新斌，刘丽燕，等，2016. 新疆野苹果种群年龄结构特征与动态分析[J]. 西北植物学报，36(4)：811-817.]

VOLK GM, RICHARDS CM, REILLEY AA, et al., 2005. Ex situ conservation of vegetatively propagated species: development of a seed-based core collection for *Malus sieversii*[J]. J Am Soc Hort Sci, 130 (2): 203-210.

WANG K, LIU FZ, GAO Y, et al., 2013. Natural geographical distribution, polymorphism and utilization value of wild apple species in China[J]. J Plant Genet Resour, 14(6): 1025-1026. [王昆，刘凤之，高源，等，2013. 中国苹果野生种自然地理分布、多型性及利用价值[J]. 植物遗传资源学报，14(6)：1025-1026.]

WANG ZY, 2013. Researchs on biological control of *Agrilus mali* Matsumura (Coleoptera: Buprestidae) in stands of *Malus sieversii* in Xinjiang[D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry. [王智勇，2013. 新疆野苹果林苹小吉丁生物防治技术研究[D]. 北京：中国林业科学研究院.]

YAN GR, YU WW, YANG ML, et al., 2020. The *Malus sieversii* in China[M]. Beijing: China Forestry Press: 285-296. [阎国荣，于玮玮，杨美玲，等，2020. 新疆野苹果[M]. 北京：中国林业出版社：294-299.]

YAN XN, LI F, YAN GR, et al., 2015. Preliminary exploration on seed germination in endangered

plant *Malus sieversii*[J]. J Tianjin Agric Univ, 22(2): 37-40. [闫秀娜，李芳，阎国荣，等，2015. 濒危植物新疆野苹果种子的萌发特性[J]. 天津农学院学报，22(2)：37-40.]

YANG ML, LI F, LONG H, et al., 2016. Ecological distribution, reproductive characteristics, and In situ conservation of *Malus sieversii* in Xinjiang, China[J]. J Amer Soc Hort Sci, 51(9): 1197-1201.

YANG XH, LI YN, LIN PJ, et al., 1992. Studies on the Pollen Morphology of *Malus sieversii* China and its origin and evolution [J]. J Southwest Univ, 14(1): 49-54. [杨晓红，李育农，林培均，等，1992. 新疆野苹果 *Malus sieversii*(Ldb.)Roem 花粉形态及其起源演化研究[J]. 西南大学学报，14(1)：49-54.]

YUE X, 2019. Experiment on control of *Agrilus mali* Matsumura by releasing bees in West Tianshan National Nature Reserve[J]. For Xinjiang, (4): 43-44. [岳霞，2019. 西天山国家级自然保护区放蜂防治苹果小吉丁虫试验[J]. 新疆林业，(4)：43-44.]

ZHANG HX, LI XS, WANG JC, et al., 2021. Insights into the aridification history of central Asian Mountains and international conservation strategy from the endangered wild apple tree[J]. J Biogeogr, 48(2): 332-344.

ZHANG P, LV ZZ, ZHANG X, et al., 2019. Age structure of *Malus sieversii* population in Ili of Xinjiang and Kazakhstan[J]. Arid Zone Res, 36(4): 844-853. [张苹，吕昭智，张鑫，等，2019. 新疆伊犁与哈萨克斯坦新疆野苹果种群年龄结构[J]. 干旱区研究，36(4)：844-853.]

ZHANG XS, 1973. Ecogeographical characteristics and community problems of wild fruit forest in Ili[J]. Acta Bot Sin, 15(2): 239-246. [张新时，1973. 伊犁野果林的生态地理特征和群落学问题[J]. 植物学报，15(2)：239-246.]

ZHANG Y, BOZOROV TA, LI DX, et al., 2020. An efficient in vitro regeneration system from different wild apple (*Malus sieversii*) explants[J]. Plant Methods, 16(1): 56.

ZHANG YM, FENG T, ZHANG CY, et al., 2009. Advances in research of the *Malus sieversii* (Lebed.) Roem[J]. Acta Hortic Sin, 36 (3): 447-452. [张艳敏，冯涛，张春雨，等，2009. 新疆野苹果研究进展[J]. 园艺学报，36(3)：447-452.]

ZHI JC, YANLZ, XIN Z, et al., 2019. Life history and mortality factors of *Agrilus mali* Matsumura (Coleoptera: Buprestidae) in wild apples in northwestern China[J]. Agric For Entomol, 21(3): 309-317.